PHOTOMETRISCHE UNTERSUCHUNGEN

INSBESONDERE ÜBER DIE

LICHTENTWICKELUNG

GALVANISCH GLÜHENDER PLATINDRÄHTE.

INAUGURALDISSERTATION

DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FACULTÄT ZU BASEL

ZUR

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE VORGELEGT

VON

C. F. ZÖLLNER.

BASEL, 1859.

SCHWEIGHAUSER'SCHE BUCHDRUCKEREI.

PHOTOMETRISCHE UNTERSUCHUNGEN

INSBESONDERE ÜBER DIE

LICHTENTWICKELUNG

GALVANISCH GLÜHENDER PLATINDRÄHTE.

INAUGURALDISSERTATION

DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FACULTÄT ZU BASEL

ZUR

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE VORGELEGT

VON

C. F. ZÖLLNER.

BASEL, 1859.

SCHWEIGHAUSER'SCHE BUCHDRUCKEREI.

HERRN

G. WIEDEMANN

Professor der Physik, z. Z. Rector

HERRN

R. MERIAN

Professor der Mathematik

IN BASEL

widmet diese Arbeit in dankbarer Liebe

der Verfasser.

VORWORT.

Die vorliegenden Untersuchungen bilden zunächst eine Fortsetzung und genauere Durchführung der bereits früher von mir über diesen Gegenstand begonnenen und veröffentlichten Arbeit.[1]) Dieselben erstrecken sich vorzugsweise auf die Gesetze der Lichtentwickelung in galvanisch glühenden Platindrähten, insofern dieselbe durch die Stromstärke, den Widerstand und den Durchmesser des glühenden Drahtes bedingt ist.

Der leitende Gedanke bei Anstellung der hierher gehörigen Versuche war einerseits das Bestreben, die Glüherscheinungen mit der Theorie des galvanischen Erwärmungsgesetzes in Einklang zu bringen,[2]) andrerseits aber auch zu zeigen, dass ein galvanisch glühender Platindraht von den uns bis jetzt bekannten Lichtquellen zur Aufstellung einer photometrischen Einheit trotz mancher practischer Schwierigkeiten vielleicht dennoch das geeignetste Mittel sei.

Es wurden auch Versuche über die Absorption des Lichtes in Flüssigkeiten angestellt, welche jedoch haupt-

---

[1]) *Poggendorff's* Annalen Band C, pag. 384.

[2]) *J. Müller*, Bericht über die neuesten Fortschritte der Physik pag. 392.

sächlich dazu bestimmt sind, die Genauigkeit und Anwendbarkeit des benutzten Photometers zu verschiedenen Zwecken darzuthun.

Die zahlreichen Apparate, welche namentlich in neuerer Zeit zu photometrischen Messungen in Vorschlag gebracht worden sind, veranlassten mich, um das in Folgendem eingeschlagene Verfahren zu rechtfertigen, ausführlicher auf diesen Punkt einzugehen und eine möglichst gedrängte Uebersicht und Kritik der bis jetzt bekannten Methoden den eigentlichen Untersuchungen voranzuschicken.

Bei der ganzen Arbeit wurde mir der freundliche Rath und die bereitwilligste Unterstützung mit Apparaten von Herrn Prof. *Wiedemann* zu Theil, wofür ich mich demselben zum wärmsten Danke verpflichtet fühle.

Basel, im Juni 1859.

D. V.

PHOTOMETRISCHE UNTERSUCHUNGEN.

Von F. Zöllner.

I.

Ueber die photometrischen Methoden.

Alle bisher zur Messung der Intensität des Lichtes aufgestellten Methoden finden, mit Ausnahme einer einzigen, ihre Begründung in der Fähigkeit des Auges, verschieden stark beleuchtete Flächen zu unterscheiden. Wir werden im Folgenden sehen, dass auch die in neuerer Zeit zuerst von *Arago* zur Photometrie angewandte chromatische Polarisation auf die Vergleichung zweier verschieden stark beleuchteter Flächen zurückzuführen ist, und dass somit sämmtliche Methoden, mit Ausschluss der weiter unten besonders zu besprechenden, auf einem gemeinschaftlichen Princip beruhen. Es bedarf kaum einer Erwähnung, dass hier diejenigen Photometer von unseren Betrachtungen ausgeschlossen werden, welche die chemischen Wirkungen des Lichtes zu messen bestimmt sind.

A. Apparate ohne Anwendung der Polarisation.

Wohl eines der ältesten, aber auch zugleich unvollkommensten Photometer ist das von *Lampadius* construirte.

Derselbe befestigte in einer Röhre so viele durchsichtige und gleich dicke Plättchen von Horn, bis ein Licht dadurch nicht mehr gesehen wurde, und suchte aus der Anzahl der vorgeschobenen Platten die relative Lichtstärke der leuchtenden Objecte zu bestimmen.

Dieses Verfahren ist deshalb unzuverlässig, weil das Verschwinden eines allmälig abgeschwächten Lichtes etwas durchaus Relatives ist, und ganz von der Stärke des Lichteindruckes abhängt, dem das Auge kurz vor der Beobachtung ausgesetzt war. Schon *Lambert*[1]) verwirft aus diesem Grunde diejenigen Methoden, welche hierauf beruhen.

Sehr wesentlich wurde die Photometrie durch das umfassende Werk von *Bouguer*[2]) über diesen Gegenstand gefördert. Man findet in demselben eine genaue Beschreibung verschiedener und zum Theil höchst sinnreicher Methoden zur Vergleichung zweier Lichtquellen, welche alle in dem Satze, dass die Intensität des Lichts umgekehrt den Quadraten der Entfernung proportional abnehme, ihre theoretische Begründung finden. Unter den Umständen, welche die Empfindlichkeit seiner Instrumente bedingen, hebt er unter anderen als die wesentlichste hervor, dass man die beiden zu vergleichenden Bilder gleichzeitig und mit demselben Auge betrachte. Auf ihre möglichst nahe Berührung scheint *Bouguer* nicht so grosses Gewicht zu legen,[3]) was um so auffallender erscheint, als sich durch ganz geringe Modifi-

---

[1]) *Lambert*, Photometria Pars I, Cap. I, § 7.

[2]) *Bouguer*, Traité d'optique sur la gradation de la lumière. Paris MDCCLX.

[3]) Traité d'optique p. 14: „Il est absolument nécessaire qu'on puisse les (c. a. d. les images) voir du même coup d'œil, *et il sera même bon, si on le peut, de faire en sorte, que leurs bords se touchent.*“

cationen seiner Apparate diese Bedingung recht gut hätte erfüllen lassen.

Auch *Lambert* beschränkt sich darauf, zwei Flächen zu vergleichen, welche von den Lichtquellen beleuchtet werden, deren relatives Intensitätsverhältniss bestimmt werden soll. Er verlangt nur, dass ihre Lage, Grösse und Entfernung die gleiche sei und sich die verglichenen Objecte allein durch ihre Helligkeit unterscheiden.[1])

Nachdrücklicher hebt *W. Herschel*[2]) die Bedingung einer möglichst vollständigen Berührung der zu vergleichenden Flächen hervor und weist bei der Besprechung des von *Ritchie* construirten Photometers ganz unzweideutig auf die dadurch gesteigerte Empfindlichkeit hin.

Der Erste jedoch, welcher durch eine einfache Construction die mehrfach erwähnte Bedingung zu verwirklichen bestrebt war, ist der Graf *Rumford*. In seinen Versuchen über die relativen Intensitäten des Lichtes[3]) giebt er eine Methode an, wie man durch Vergleichung der von zwei Lichtquellen erzeugten Schatten eines cylindrischen Stabes das Intensitätsverhältniss der beiden Lichter bestimmen kann.

Er hat später seinem Apparate dadurch eine grosse Vollkommenheit und Empfindlichkeit verschafft, dass er die beiden Schatten auf eine geölte Papierscheibe fallen liess, welche die eine Wand eines im Innern sorgfältig geschwärzten Kastens bildete. Die beiden Schatten wurden durch geeignete Stellung der Lichter zur unmittelbaren Berührung gebracht und die transparente Papierscheibe mit einer in

---

[1]) *Lambert*, Photometria P. I, Cap. I, § 27: „Posterius caveri poterit ratione situs, magnitudinis et distantiæ objectorum, *ut sola remaneat claritatis differentia.*“

[2]) *J. F. W. Herschel*, On light p. 29.

[3]) Philosophical Transactions Vol. 84, pag. 67.

der Mitte kreisförmig ausgeschnittenen Pappscheibe bedeckt, dergestalt, dass die Berührungslinie der beiden Schatten den Kreis halbirte.

Später construirte *Ritchie* ein Photometer, das im Wesentlichen eine Verbesserung der von *Bouguer* angegebenen Methoden ist, und welches ebenfalls durch die grosse Nähe der zu vergleichenden Flächen eine nicht unbedeutende Empfindlichkeit besitzt.

Das vollkommenste und zugleich einfachste Instrument dieser Art ist unstreitig das in neuerer Zeit von *Bunsen* angegebene und allgemein bekannte Photometer.

Alle bisher angeführten Apparate gründen sich auf den Satz, dass die Intensität des Lichtes im umgekehrten Verhältniss des Quadrats der Entfernung abnehme; hierauf beruht aber zugleich die Unbequemlichkeit ihrer Anwendung, indem die Intensität der verglichenen Flächen nur durch eine Verstellung der Lichtquellen variirt werden kann.

Steinheil hat diesem Uebelstande durch messbare Veränderung der Objectivöffnung eines Fernrohres abgeholfen. Ueber die Construction seines Apparates, welcher hauptsächlich zu Messungen über die Helligkeit des Himmelsgrundes bestimmt ist, siehe dessen Elemente der Helligkeits-Messungen am Sternenhimmel, Math.-Phys. Abhandlungen der Bair. Academie 1837, Bd. II, pg. 37.

B. Apparate mit Anwendung der Polarisation.

Da es in der Folge von Wichtigkeit ist, diejenigen Erscheinungen, bei denen weisses Licht durch die Polarisation nur geschwächt wird, von denjenigen zu unterscheiden, bei welchen dasselbe in Farben zerlegt wird, so mag es des kürzeren Ausdrucks wegen gestattet sein, die zuerst erwähnten Erscheinungen als die der achromatischen, die letzteren als die der chromatischen Polarisation zu bezeichnen.

a. Apparate mit Anwendung der achromatischen Polarisation.

Arago hat zuerst die Polarisation zu photometrischen Zwecken in Vorschlag gebracht, ohne jedoch, soweit uns bekannt ist, einen nach diesem Principe construirten Apparat näher zu beschreiben. In denjenigen Fällen, wo er die Construction von Polarisationsphotometern gründlicher bespricht, bezwecken dieselben eine Bestimmung des Intensitätsverhältnisses verschieden gefärbter Lichter, worauf wir weiter unten in einem besonderen Abschnitte etwas ausführlicher eingehen werden.

Das erste Polarisationsphotometer construirte *Bernard*,[1]) um die Absorption des Lichtes in durchsichtigen Medien zu bestimmen. Die Einrichtung des Instruments ist im Wesentlichen folgende:

Von einer weissen, senkrecht stehenden Fläche herkommend, treten die Lichtstrahlen in zwei parallele, in gleicher Höhe neben einander liegende horizontale Metallröhren, welche die Strahlen durch Diaphragmen von ungefähr 1,5^{mm} Oeffnung einlassen. Jedes der auf diese Weise gebildeten Strahlenbündel passirt sodann in seiner Röhre ein polarisirendes und ein analysirendes Nicol'sches Prisma und tritt darauf in einen dunkeln Kasten, in welchen die Röhren münden. In diesem steht jeder Röhre ein gleichschenkliges Prisma mit senkrecht brechender Kante so gegenüber, dass das aus der Röhre tretende Strahlenbündel in ihm total reflectirt wird, darauf rechtwinklig gegen seine frühere Richtung weiter gehen und endlich aus einer kreisrunden Oeffnung der Seitenwand desselben austreten muss. In diese Oeffnung ist ein Fernrohr eingesetzt, durch welches man also die beiden Bilder der Diaphragmen zu glei-

[1]) Ann. de chim. et phys. XXXV, 385—438.

cher Zeit betrachten kann. Die Prismen sind verschiebbar, wodurch man die beiden Bilder beliebig nahe an einander rücken kann. Die polarisirenden Nicols sind fest, die analysirenden können um ihre Axe gedreht und die Grösse der Drehung an getheilten Kreisen abgelesen werden. Später hat Bernard sein Photometer für die Bestimmung von Absorptionen verbessert, indem er die beiden gleichen Strahlenbündel, von denen das eine durch Absorption eine Schwächung erlitten hat, mit Hülfe eines Doppelprismas aus einem einzigen Strahle herstellt.[1])

Die unmittelbare Berührung der beiden Bilder in diesem Photometer kann offenbar nur in einem Punkte stattfinden, da die Oeffnungen der Diaphragmen kreisförmig sind. Durch eine vorläufige Versuchsreihe fand *Bernard*, dass sein Instrument das Verhältniss der Intensitäten zweier Bilder bis auf $\frac{1}{50}$ des wahren Werthes richtig zu bestimmen erlaube. Diese nur geringe Genauigkeit findet jedenfalls in dem erwähnten Umstande ihre genügende Erklärung.

In einer der vorigen sehr ähnlichen Construction, welche *Beer*[2]) bei der Bestimmung der Absorption des rothen Lichtes in farbigen Flüssigkeiten angiebt, ist dieser Uebelstand dadurch beseitigt, dass an Stelle der beiden Glasprismen ein rechtwinkliges Stahlprisma angewendet wird, dessen Kante (am rechten Winkel) das kreisförmige Gesichtsfeld halbirt, wodurch dasselbe ein ähnliches Ansehen, wie beim verbesserten *Rumford*'schen und *Ritchie*'schen Photometer bekommt.

Zu dieser Art von Photometern gehört nun auch der weiter unten beschriebene und vom Verfasser construirte Apparat, welcher durchaus keine Ansprüche auf Neuheit

---

[1]) Comptes rendus XXXVI, 728—751.

[2]) Pogg. Ann. LXXXVI, 78—88.

des Princips macht, sondern nur Einfachheit der Construction mit möglichst grosser Empfindlichkeit vereinigen soll.[1])

b. Apparate mit Anwendung der chromatischen Polarisation.

Durch Benutzung der hierher gehörigen Klasse von Polarisations-Erscheinungen tritt ein in physiologischer Beziehung scheinbar ganz neues Prinzip in die Photometrie. Während das Auge bisher nur zwischen hell und dunkel zweier an einander grenzenden Flächen zu unterscheiden hatte, ist dieser Unterschied jetzt auf die Differenz von Farben oder das Auftreten von bestimmten Figuren zurückgeführt. Der leitende Gedanke hierbei ist einfach folgender.

Zwei senkrecht auf einander polarisirte Strahlen von gleicher Intensität verhalten sich gegen ein Polariscop wie gewöhnliches Licht, d. h. man sieht weder Farben noch Figuren. Diese treten jedoch hervor, sobald der eine oder andere der beiden Strahlen geschwächt wird, so dass die vollständigste Homogenität im Gesichtsfelde des Polariscops das Kennzeichen für die Gleichheit der verglichenen Strahlen ist.

Als Prototyp der hierher gehörigen Photometer kann das von *Babinet*[2]) zuerst nach diesem Princip construirte angeführt werden, weshalb wir eine kurze Beschreibung desselben hier folgen lassen.

Eine Röhre läuft in zwei Schenkel aus, von denen der eine die Verlängerung der Röhre bildet, während der andere mit dieser einen Winkel von 70° einschliesst. Beide sind durch matt geschliffene Glasplatten geschlossen. Am

---

[1]) Abgesehen von der Anwendung der Polarisation hat *Steinheil* ein Photometer nach denselben Principien construirt. Siehe dessen Elemente der Helligkeits-Messungen am Sternenhimmel.

[2]) *Babinet*, Note descriptive du photomêtre industriel. Comptes rendus XXXVII, 774—775.

Scheitel des Winkels wird die Röhre durch einen Satz Glasplatten getheilt, welcher den Winkel halbirt. Werden nun vor die beiden Röhrenenden Lichtquellen gesetzt, so tritt das Licht der einen Quelle in das gemeinsame Röhrenstück, nachdem es von dem Glassatz durchgelassen und senkrecht gegen die Einfallsebene polarisirt ist, und das Licht der anderen Quelle nachdem es reflectirt und in der Einfallsebene polarisirt ist. Das gemeinschaftliche Röhrenstück ist durch ein *Soleil*'sches Polariscop geschlossen. So lange die beiden senkrecht zu einander polarisirten Lichtzüge ungleiche Intensität haben, sieht man dann vier complementäre Halbkreise. Die Farben verschwinden, wenn beide Lichtzüge dadurch gleiche Intensität erhalten, dass die eine Lichtquelle passend verschoben wird. Aus den Entfernungen schliesst man dann auf das Verhältniss ihrer Intensitäten.

Auf demselben Princip beruht das in neuester Zeit von *Wild* construirte Photometer.[1]) Es unterscheidet sich im Wesentlichen von dem beschriebenen dadurch, dass die Schwächung des einen der polarisirten Strahlenbündel durch ein um seine horizontale Axe drehbares System von Glasplatten bewirkt wird und an Stelle der Farbenänderungen im *Soleil*'schen Polariscop die Liniensysteme zweier gekreuzten Bergkrystallplatten als Merkmal für die Intensitätsdifferenzen der verglichenen Strahlen dienen.

Vergleichen wir nun die nach diesem Principe construirten Photometer rücksichtlich ihrer Leistungsfähigkeit mit den vorher angeführten, so ist zunächst klar, dass man es auch hier mit der Vergleichung von nah an einander grenzenden Flächen zu thun hat, welche sich jedoch nicht, wie früher, blos durch ihre verschiedene Intensität, sondern auch durch die Unterschiede ihrer Färbung dem Auge

[1]) Pogg. Ann. XCIX, 235.

bemerklich machen. Es muss demnach für unseren Zweck die Frage entschieden werden, *ob das Auge gegen die bei der Polarisation auftretenden Farbendifferenzen empfindlicher sei, als für die durch gleiche Schwächung des einen der beiden Strahlenbündel bewirkte Intensitätsdifferenz in einem der vorher angeführten Photometer.* — Nehmen wir des besseren Verständnisses wegen z. B. an, es sei die Intensität des einen der senkrecht auf einander polarisirten Strahlen um $^1/_{10}$ geringer als die des andern, so kommen bei den Photometern mit chromatischer Polarisation gewisse Farben im Gesichtsfelde des angewandten Polariscops zum Vorschein, während unter derselben Voraussetzung bei der zuerst erwähnten Klasse einfach nur die eine Hälfte des Gesichtsfeldes um $^1/_{10}$ heller beleuchtet als die andere erscheint. Es handelt sich darum, zu entscheiden, welchen Unterschied das Auge leichter wahrnimmt.

Für's Erste ist es eine bekannte und leicht zu beweisende Thatsache, dass die in Krystallplatten beobachteten Polarisationsfiguren bei homogenem Lichte weit schärfer und linienreicher als bei gemischtem zum Vorschein kommen, so dass man unbedingt zu der Annahme berechtigt ist, es könne die Empfindlichkeit eines auf diesem Principe beruhenden Photometers für gemischtes Licht nicht grösser als für homogenes sein.

Können wir daher für homogenes Licht ermitteln, in welchem Verhältniss die Empfindlichkeit der letzten Gattung von Photometern zu derjenigen der ersten steht, so wird bei der so eben gemachten Annahme das ermittelte Verhältniss zugleich auch als oberste Grenze der Empfindlichkeit für gemischtes Licht, d. h. für die auftretenden Farbendifferenzen gelten müssen.

Bevor wir jedoch dieses Verhältniss näher bestimmen können, müssen wir untersuchen, in welcher Abhängigkeit die Intensitätsverhältnisse der hellen und dunkeln Streifen

im Felde des Polariscops zu dem Helligkeitsverhältnisse der sie erzeugenden, senkrecht auf einander polarisirten Strahlen stehen, und zu diesem Zwecke die Entstehungsweise der Polarisationsfiguren bei homogenem Lichte etwas näher betrachten.

Bezeichnen wir mit I und I_1 die Intensitäten der z. B. beim *Wild*'schen Photometer einfallenden, senkrecht auf einander polarisirten Strahlen, so können wir uns diese einfallende Lichtmenge in zwei Theile zerlegt denken, von denen der eine aus polarisirtem, der andere aus unpolarisirtem Lichte besteht.

Ist I_1 grösser als I, so wird die Intensität des polarisirten Antheils durch $I_1 - I$, die des nichtpolarisirten durch $2\,I$ ausgedrückt sein.

Fällt nun ein Bündel unpolarisirter Lichtstrahlen von der Intensität $2\,I$ auf ein keilförmig geschliffenes Gypsplättchen, so zeigt dasselbe nach seinem Durchgange mit einem Analyseur, z. B. einem Nicol'schen Prisma betrachtet, keine Interferenzstreifen. Abgesehen von der Absorption im Innern dieser Medien wird indess durch das Nicol die Intensität des durchgegangenen Lichtes auf die Hälfte, also auf I reducirt.

Geht mit diesem unpolarisirten Licht noch polarisirtes Licht von der Intensität $I_1 - I$ durch das Gypsplättchen und den Analyseur, so entstehen auf dem durch das unpolarisirte Licht beleuchteten Grunde helle und dunkle Interferenzstreifen, von denen bei einer gewissen Lage des Gypsplättchens die ersteren durch das Auftreten, die letzteren durch das Verschwinden des gesammten polarisirten Lichtes erzeugt werden. Im ersten Fall verschwindet also die Differenz $I_1 - I$, im zweiten behält sie ihren Werth, so dass wir, wenn i die Intensität der dunkeln, i_1 die Intensität der hellen Streifen bezeichnet, wie sie sich auf dem hellen Grunde projiciren, Folgendes erhalten:

$$i = I \qquad i_1 = I + (I_1 - I) = I_1$$

also auch:

$$\frac{i}{i_1} = \frac{I}{I_1}$$

d. h. *es sind die Intensitäten der hellen und dunkeln Streifen denjenigen der sie erzeugenden Strahlen proportional resp. gleich.*[1])

Bei den Photometern mit achromatischer Polarisation muss rücksichtlich der verglichenen Flächen und der zu vergleichenden Strahlen, wie ohne weitere Betrachtung von selbst verständlich ist, genau dasselbe stattfinden, so dass wir jetzt als Ergebniss unserer bisherigen Untersuchung Folgendes feststellen können:

Alle bisher beschriebenen Photometer beruhen auf dem physiologischen Princip der Vergleichung. Setzt man die Berührung der zu vergleichenden Flächen als gleich vollkommen voraus und betrachtet ihre Anzahl, Form und Grösse für die Empfindlichkeit als unwesentlich, so muss die Leistungsfähigkeit aller Constructionen die gleiche sein.

C. Die Dauer des Lichteindruckes als photometrisches Princip

hat *Schafhäutl* angewandt, wobei er jedoch von der durchaus noch unerwiesenen Annahme ausgeht, dass die Intensität des Lichtes proportional sei dem Quadrat der Dauer des Lichteindrucks, welchen dasselbe nach einer momentanen Wirkung auf der Retina zurücklässt. In der unten citirten Abhandlung[2]) findet sich die vollständige Beschreibung des angewandten Apparats.

---

[1]) Wenn man, wie im vorliegenden Fall, die Absorptionen vernachlässigt.

[2]) *E. Schafhäutl*, Abbildung und Beschreibung des Universal-Vibrations-Photometers, Münch., Abh. VII, 465—497.

II.

Ueber das Intensitätsverhältniss verschiedenfarbiger Strahlen.

Mit Ausnahme des zuletzt angeführten sind alle bisher beschriebenen Photometer streng genommen nur für Strahlen von vollkommen gleicher Farbe anwendbar und es kann in dieser Hinsicht als ein Vorzug der Photometer mit chromatischer Polarisation betrachtet werden, dass bei ihnen kleine Farbendifferenzen nicht in demselben Grade störend einwirken, als bei der directen Vergleichung verschieden stark beleuchteter Flächen.

Es fragt sich nun, ob und in wie weit es überhaupt möglich sei, das Intensitätsverhältniss verschiedener Farben zu bestimmen.

Wir müssen hierbei zunächst einen Unterschied zwischen der *absoluten* und *scheinbaren Intensität* eines Lichtstrahles feststellen. Die absolute Intensität wird nach den Principien der Undulationstheorie die lebendige Kraft eines schwingenden Aethermolecüles sein und daher sowohl von der Amplitude als auch von der Oscillationsdauer (Farbe) abhängen. Die scheinbare Intensität bezeichnet die Stärke des subjectiven Eindrucks, welchen ein Lichtstrahl auf unsere Netzhaut hervorbringt, und hängt daher von der besonderen Beschaffenheit und Reizbarkeit der letzteren ab. Da sich hiernach zwei gleichgefärbte Strahlen nur durch die Verschiedenheit ihrer absoluten Intensität unterscheiden können, so schliessen wir mit Recht von der Gleichheit des physiologischen Eindrucks auf die Gleichheit der absoluten Intensität der verglichenen Strahlen.

Bei verschiedenen Farben kann dagegen nur die Stärke ihres physiologischen Eindrucks, nicht ihre absolute Intensität verglichen werden, da die Abhängigkeit des ersteren von der letzteren unbekannt ist.

Als Resultat dieser Betrachtungen ergiebt sich also Folgendes:

1) Die absoluten Intensitäten zweier verschieden gefärbter Strahlen sind vollkommen bestimmte und theoretisch vergleichbare Grössen.[1])
2) Physiologisch sind nur die absoluten Intensitäten vollkommen gleich gefärbter Strahlen genau vergleichbar.

Mit der Bestimmung des scheinbaren Intensitätsverhältnisses hat sich schon *Lambert*[2]) beschäftigt. Er beschränkt sich darauf, mittelst prismatischer Zerlegung zweier verschieden gefärbter Strahlen die gleich gefärbten Theile der so erhaltenen Spectra zu vergleichen. (Siehe l. c. Exp. XXXV et XXXVI.)

Später versuchte *Fraunhofer*[3]) die relativen Helligkeiten der verschiedenen Theile des Spectrums zu bestimmen und bediente sich hiezu eines Apparates, welcher mit dem von mir construirten Photometer, abgesehen von der Polarisation, im Wesentlichen übereinstimmt.

Er erleuchtete die eine Hälfte des Gesichtsfeldes durch einen unter 45° gegen die Axe des Instruments geneigten Metallspiegel, von dem das Licht einer seitlich aufgestell-

---

[1]) In meiner früheren Arbeit habe ich unter der Voraussetzung, dass die Gesammtlichtentwickelung eines galvanisch glühenden Platindrahtes eine bekannte Function der Stromstärke sei, das absolute Intensitätsverhältniss von rothen und grünen Strahlen nach der dort beschriebenen Methode zu bestimmen versucht. Da sich jedoch aus den im Folgenden mitgetheilten Versuchen über die galvanische Lichtentwickelung ergibt, dass die früheren Resultate nur unter ganz zufälligen Bedingungen richtig sind, so erledigen sich hiedurch zugleich die dort über diesen Punkt angestellten Betrachtungen.

[2]) *Lambert*, Photometria Pars VII, Cap. I, § 1168.

[3]) Gilbert's Annalen 1817, Bd. 56, p. 297.

ten Lampe reflectirt wurde. Durch Entfernen und Nähern der letztern konnte die Intensität des reflectirten Lichtes nach Belieben variirt und bestimmt werden. Die andere Hälfte des Gesichtsfeldes wurde alsdann durch denjenigen Theil des Spectrums erleuchtet, dessen Intensität gemessen werden sollte.

Als Einheit wählte *Fraunhofer* bei diesen Bestimmungen die Helligkeit des Spectrums zwischen den Linien *D* und *E*. Obgleich nun die correspondirenden Zahlen von vier Versuchsreihen ziemlich stark von einander abweichen, so erhalten sie dennoch dadurch einen Werth, dass die Intensitätsunterschiede der einzelnen Stellen des Spectrums sehr bedeutend sind.

Bemerkenswerth hierbei ist der Umstand, dass die Grösse dieser Abweichungen um so bedeutender wird, je mehr sich die mit dem Lampenlicht verglichene Stelle des Spectrums von dem Raume zwischen *D* und *E* entfernt. Da die Farbe dieses Raumes (orange) wohl am meisten mit der des Lampenlichtes übereinstimmt, so würde hiernach die Unsicherheit in der Helligkeitsschätzung verschiedener Farben desto grösser sein, je weiter die verglichenen Farben im Spectrum von einander entfernt sind. Die oben erwähnten Abweichungen erreichen bei der Linie *H*, also in dem fast complementären Violett, ihr Maximum.

In neuerer Zeit hat *Arago* zur Vergleichung verschieden gefärbter Strahlen die Polarisation angewandt.[1])

Nach seinen Angaben lässt man das gefärbte Licht durch ein kleines Diaphragma gehen, polarisirt es durch ein *Nicol*'sches Prisma und betrachtet es dann durch eine

[1]) *Arago*, Méthode pour comparer entre elles des sources de lumière différemment colorées. Cosmos II, 555.

Vgl. auch Comptes rendus XX, 1704. Recherches sur la photométrie chromatique.

doppelt brechende Loupe. Bei der Drehung der letzteren wird eins der beiden Bilder verschwinden, und zwar muss der Winkel, welchen hierbei die Hauptschnitte der beiden Prismen mit einander bilden, sich um so mehr einem rechten nähern, je intensiver die Lichtquelle ist.

Obgleich diese Methode an den gleich im Eingange unserer Betrachtungen über die photometrischen Methoden erwähnten Mängeln leidet, so ist sie dennoch in Rücksicht auf die Schwierigkeit des Gegenstandes ohne Zweifel die einfachste. Freilich wird hierbei die Empfindlichkeit der Netzhaut für alle Farben als gleich vorausgesetzt, eine Annahme, zu der man jedoch nach den Beobachtungen von *Dove*[1]) nicht ganz berechtigt ist.

III.

Ueber das zu den vorliegenden Untersuchungen angewandte Photometer.

Es mag mir gestattet sein, aus dem mehrfach erwähnten Aufsatze hier das Wesentlichste über die Construction des im Folgenden benutzten Photometers anzuführen. Wir wollen zuerst kurz die einfachste Einrichtung desselben betrachten, welche dazu bestimmt ist, die zu vergleichenden Strahlen nach einander und indirect auf eine constante Lichtquelle bezogen zu vergleichen, um alsdann zur ausführlichen Beschreibung einer Construction für gleichzeitige und directe Messungen überzugehen.

A. Construction für indirecte Messungen.

Diese Construction ist, abgesehen von ihrer grösseren Einfachheit, in allen denjenigen Fällen der weiter unten

[1]) Pogg. Ann. LXXXV, 397—408.

beschriebenen vorzuziehen, in welchen die zu vergleichenden Lichtmengen von sehr geringer Intensität sind und somit im Photometer selber möglichst wenig abgeschwächt werden dürfen. Die Einrichtung des Apparats ist kurz folgende:

In einer horizontalen Röhre ist senkrecht zur Axe derselben ein geschwärzter Polarisationsspiegel angebracht, so dass die scharfe Kante [1]) desselben die Axe der Röhre senkrecht durchschneidet und hierdurch das mit einem Nicol versehene Ocular des Instruments ein in zwei Hälften getheiltes Gesichtsfeld erblicken lässt (Taf. I, Fig. 1 a), in welchem die eine Hälfte durch polarisirtes, die andere dagegen durch gewöhnliches, in die vordere Oeffnung gelangtes Licht erleuchtet wird. Die seitliche sowohl als die vordere Oeffnung war durch eine matt geschliffene Glasplatte verschlossen.

Durch Drehen des Nicols konnte man beide Hälften gleich beleuchtet erscheinen lassen, so dass, wegen der unmittelbaren Berührung dieser Flächen, das Auge momentan eine vollkommen homogen [2]) beleuchtete Scheibe wahrnahm. Die Stellung des Nicols, bei der dies stattfand, wurde an einem getheilten Kreise abgelesen und die quadrirten Sinus der hierbei beobachteten Winkel gaben unmittelbar das Mass für die Intensität der verglichenen Lichtquellen.

Was die Form und Anzahl der verglichenen Flächen betrifft, so suchte ich durch folgende Einrichtung des Po-

[1]) Ueber die hierbei zu beobachtende Vorsicht siehe Pogg. Annal. Bd. C, pag. 385 ff.

[2]) Zur Erreichung einer vollkommenen Gleichförmigkeit der beiden Flächen ist die Anwendung einer Linse am Ocular durchaus nothwendig, indem hierdurch die nicht in der Brennweite befindlichen Bilder der matten Glasplatten alle Ungleichheiten verlieren, und dadurch bei der Vergleichung die punktirten Flächen vermieden werden.

larisationsspiegels die Empfindlichkeit des Apparats zu erhöhen. Es wurde ein möglichst dünnes Deckblättchen für mikroskopische Objecte behutsam mit einem Diamant zerschnitten und dann die beiden Hälften auf einer in der Mitte durchbohrten Metallplatte von der Grösse des Polarisationsspiegels so befestigt, dass die Schnittkanten der beiden Hälften bis auf eine Entfernung von höchstens $0{,}5^{mm}$ gegenüber standen und der Zwischenraum eine schmale, scharf begrenzte Linie bildete. Die so zubereitete Platte wurde nun, nachdem die beiden Hälften des Deckblättchens auf der einen Seite mit Tusch geschwärzt waren, an Stelle des Polarisationsspiegels am Photometer befestigt, so dass das Gesichtsfeld jetzt ein Ansehen bekam wie in Taf. I, Fig. 1 b, wobei der Spalt durch das in die Hauptaxe reflectirte Licht erleuchtet wird, während der übrige Theil des Feldes von dem hier getheilten Polarisationsspiegel sein Licht empfängt.

Der Verlauf der Erscheinung bei Drehung des Nicols ist leicht ersichtlich. Es wird auch hier ein Punkt eintreten müssen, wo das Feld vollkommen homogen ist, während bei fortgesetzter Drehung nach der einen oder anderen Seite entweder eine dunkle oder helle Linie im Gesichtsfelde erscheint.

Um jedoch bei dieser Einrichtung eine möglichst unmittelbare Berührung der zu vergleichenden Flächen zu erzielen, ist es nothwendig, dass der Gesichtswinkel, welchen die Dicke des Spaltes im Auge des Beobachters macht, ein möglichst kleiner sei, um nicht durch die Seitenansichten der Schnittflächen das Verschwinden der verglichenen Objecte zu verhindern.

Dieser Anforderung kann auf doppelte Weise genügt werden, indem man erstens den Spalt sehr eng macht und zweitens die Entfernung des Auges vom Spiegel möglichst gross wählt. Letzteres konnte bei dem mir zu Gebote ste-

henden Apparate nicht leicht ohne bedeutende Veränderung desselben erreicht werden, weshalb ich, nach einigen Versuchen mit diesem so veränderten Spiegel, bei der früheren Anordnung des Polarisationsspiegels blieb.

B. Construction für directe Messungen.

Sowohl bei der Bestimmung von Absorptionen als auch bei Vergleichung zweier selbstständigen Lichtquellen kann es zuweilen wünschenswerth erscheinen, gleichzeitige und directe Messungen anzustellen, wie dies bei dem *Wild*'schen und ähnlichen Photometern der Fall ist.

In der That hatte nun mein Apparat, bevor derselbe seine jetzige Gestalt erlangte, vermittelst eines zweiten Spiegels eine solche Einrichtung, dass man durch unmittelbare Vergleichung das Intensitätsverhältniss zweier Lichtquellen direct bestimmen konnte. Da jedoch die Absorption bei der Reflection des Lichts von einem geschwärzten Polarisationsspiegel eine sehr bedeutende ist, so sah ich mich bei den Versuchen über die Lichtentwickelung in galvanisch glühenden Platindrähten aus Mangel an hinreichender Beleuchtung dazu genöthigt, dem Apparate seine jetzige Gestalt zu geben. Die frühere Einrichtung war folgende.

Figur 2, Taf. I zeigt den Längsdurchschnitt des Apparats von oben gesehen. Er misst in seiner grössten Ausdehnung etwa 3 Decimeter.

Seitlich bei A und B sind Röhrenstückchen eingesetzt, die an ihren den Spiegeln a und b zugekehrten Seiten durch matte Glasplatten verschlossen sind. Der Spiegel a ist auf einem Metallstücke H, welches senkrecht auf dem Boden der drehbaren Kapsel IK befestigt ist, so angebracht, dass seine spiegelnde Fläche, die in der Figur nach unten geneigt ist, mit der Hauptaxe OE den Polarisationswinkel für Glas, mit der Nebenaxe Aa einen Winkel von 45^0 bildet. Bei b befindet sich eine geschwärzte Messingscheibe mit

einem quadratischen Ausschnitt in der Mitte, welcher zur Hälfte mit einem auf der Rückseite geschwärzten Deckblättchen beklebt ist, so dass das Gesichtsfeld durch *O* betrachtet wie Figur 3 b aussieht. Im Uebrigen ist diese Messingscheibe, wie der Spiegel *a*, auf einem Metallstückchen so befestigt, dass sie mit der Hauptaxe den Polarisationswinkel, mit der zweiten Nebenaxe *Bb* ebenfalls einen Winkel von 45° macht, so dass also beide Spiegel mit einander bezüglich der Nebenaxen einen Winkel von 90° bilden. Hierdurch ist nun die gegenseitig rechtwinklige Polarisation der von *a* und *b* reflectirten Strahlen bedingt, und ein in *O* befindliches Auge wird je nach der Stellung des Nicols beide Spiegel ungleich oder ein vollkommen homogen erleuchtetes Quadrat sehen. Bei MM_1 ist das Instrument auf einem gabelförmig auslaufenden Stativ befestigt, welches eine horizontale Drehung der Röhre zulässt und mittelst einer Schraube in einer beliebigen Stellung fixirt werden kann, wie dies aus Fig. 3 a, welche die Vorderansicht des Apparats zeigt, ersichtlich ist.

Aus der Beschaffenheit dieser Einrichtung ergeben sich für den Gebrauch des Instruments gewisse Rectificationen und Vereinfachungen, auf welche hier näher einzugehen der Raum nicht gestattet.

IV.

Ueber die Leistungsfähigkeit des beschriebenen Photometers.

In meiner früheren Arbeit hatte ich nur gelegentlich von den dort angestellten Beobachtungen auf die Leistungsfähigkeit des angewandten Apparats hingedeutet. Da dieselbe für meine damaligen Zwecke vollkommen ausreichend war, so wurde ich erst später in Absicht anderer Versuche zu einer genaueren Prüfung der Empfindlichkeit meines Ap-

parates veranlasst und theile hier die Methode und Resultate dieser Untersuchung mit.

Nach Entfernung der matten Glasplatte aus der Hauptaxe des Instruments wurde demselben in einem Abstande von circa 2 Fussen ein mit weissem Papier beklebter Schirm gegenüber gestellt, welcher ebenso wie die seitliche Oeffnung des Photometers von ein und derselben Gaslampe mit *Argand*'schem Brenner erleuchtet wurde. Es kam daher sowohl das seitlich auf den Polarisationsspiegel geworfene als auch das von dem Schirm in die Axe des Apparats reflectirte Licht von derselben Lichtquelle, so dass allfällige Intensitätsschwankungen sich gegenseitig im Gesichtsfelde compensiren mussten. Man überzeugte sich durch willkürliche Veränderungen der Flamme, dass die angewandte Methode vollkommen ihrem Zwecke entsprach, und dass nur erst bei sehr grossen Aenderungen Unterschiede im Photometer bemerklich wurden. Auch diese Fehlerquelle wurde durch eine am Cylinder angebrachte Marke beseitigt, bis zu welcher die Flammenspitze stets vor der Beobachtung eingestellt wurde.

Nach diesen Vorbereitungen versuchte ich mehrere Male hinter einander, in Zwischenräumen von 3 bis 4 Minuten, den Neutralisationswinkel (φ) einzustellen und erhielt folgende Reihe für das beobachtete Intensitätsverhältniss der beiden Hälften des Gesichtsfeldes, wobei das vom Spiegel reflectirte Licht (I_1) als Einheit genommen ist.

Nummer der Beobachtung	φ	$\frac{I}{I_1}$
1.	61° 10′	0,7674
2.	61° 5′	0,7662
3.	61° 15′	0,7686
4.	61° 10′	0,7674
5.	61° 15′	0,7686
6.	61° 10′	0,7674

Da hiernach die grösste Abweichung der verglichenen Lichtmengen nur circa $^1/_{384}$ beträgt, so konnte bei *einmaliger* Einstellung kein grösserer Fehler als der angegebene begangen werden.

V.

Ueber die Absorption des Lichts in Flüssigkeiten.

Es folgen hier die Bestimmungen einiger Absorptionscoefficienten in derselben Bedeutung, wie *Wild* diese Grösse definirt.[1]) Die Zahlen sind Mittel aus vier Beobachtungen und wurden bei verschiedenen Stellungen der Lampe gefunden, so dass der ursprüngliche Neutralisationswinkel vor Einschaltung der Flüssigkeit ein verschiedener war, und demnach je vier Beobachtungen in einem anderen Theile des Quadranten stattfinden mussten. Es war auf diese Weise jede Selbsttäuschung bei den Winkelablesungen unmöglich gemacht, und es kann somit die Uebereinstimmung der gefundenen Zahlenwerthe als ein Beleg für die Empfindlichkeit und Zuverlässigkeit des Photometers angesehen werden.

Stell. d. Lampe.	Dest. Wasser.	$ZnO.SO_3$ conc. Lösung.
1	$a = 0{,}9897$	$a = 0{,}9847$
2	$a = 0{,}9889$	$a = 0{,}9845$
Mittel	$a = 0{,}9893$	$a = 0{,}9846$

Obschon der hier gefundene Absorptionscoefficient des Wassers recht gut mit dem von *Wild* ermittelten ($a = 0{,}98835$ für „mittelfeines" Filtrirpapier) übereinstimmt, so kann man diesen Zahlen dennoch keinen absoluten Werth beilegen, indem der Einfluss des angewandten Filtrirpapiers ein zu störender ist. Ich wandte bei meinen Versuchen gewöhn-

[1]) Pogg. Annal. XCIX, 264.

liches Filtrirpapier an, und liess, um mich wenigstens einigermassen von dem erwähnten Uebelstande unabhängig zu machen, die gefüllten Glasröhren vor dem Versuche mehrere Stunden hindurch ruhig stehen, wobei sich alsdann die in der Flüssigkeit noch vorhandenen Staubtheilchen und sonstigen Verunreinigungen, die specifisch schwerer als die Lösung sind und durch Filtration nicht ganz daraus entfernt werden können, auf dem Boden absetzen.

Nachdem ich mich auf diese Weise von der Brauchbarkeit meines Photometers überzeugt hatte, versuchte ich in ähnlicher Weise die Absorptionscoefficienten verschieden concentrirter Lösungen ein und desselben Salzes für dieselbe Dicke der durchstrahlten Flüssigkeitsschicht zu bestimmen.

Hierbei stellte sich jedoch gleich Anfangs eine Schwierigkeit in den Weg, indem bei hinreichender Länge der Flüssigkeitsschicht, selbst von denjenigen Salzen, welche man gewöhnlich zu den farblosen rechnet, dennoch nicht alle Strahlen des Spectrums in gleichem Verhältniss absorbirt werden, so dass es unmöglich war, durch Drehen des Nicols das Gesichtsfeld im Photometer homogen zu machen. Um dieses Hinderniss zu beseitigen, bereitete ich aus den schwefelsauren Salzen des Nickels, Kobalts und Kupfers ein Gemenge, welches in Wasser gelöst je nach der Concentration eine mehr oder weniger dunkelgraue aber durchweg klare Lösung bildete, welche dem beabsichtigten Zwecke vollkommen entsprach und bei verschiedenen Dicken der durchstrahlten Schicht im Photometer keine Farbenänderungen zeigte.

Man wird im Allgemeinen zu der Annahme berechtigt sein, dass das Absorptionsgesetz, welches sich für diese Salzmischung ergiebt, auch für solche gelte, welche nicht die Eigenschaft haben, alle Farben des Spectrums bei gesteigerter Concentration in gleichem Verhältniss zu absor-

biren, d. h. auch für die farbigen, vorausgesetzt, dass man hierbei die absolute Intensität versteht, insofern dieselbe auch von der Oscillationsgeschwindigkeit bedingt wird.

In der folgenden Tabelle sind unter *I* die verschieden concentrirten Lösungen aufgeführt, wobei die unter *L* stehenden Zahlen gleiche Raumtheile einer bestimmten Originallösung bezeichnen, während die unter *W* stehenden die Quantität des beigemengten Wassers angeben. Die Lösungen wurden titrirt und in wohlverschlossenen Gefässen aufbewahrt. Die zweite Columne giebt die beobachteten Neutralisationswinkel an, und die dritte enthält das hieraus berechnete Intensitätsverhältniss des durch die Lösung gegangenen Lichtes zu dem vom Polarisationsspiegel constant reflectirten, so dass die Quotienten *Q* (vierte Spalte) je zweier auf einander folgender Werthe das Verhältniss der durchgegangenen Lichtmengen angeben.

Nro.	*I*		*II*	*III*	*IV*	*V*
der						*Abweich. v.*
Beob.	*L*	*W*	φ	$Sin^2\varphi$	*Q*	*Mittel.*
1.	1	9	59° 0′	0,7347	1,095	—0,005
2.	2	8	55° 0′	0,6710	1,107	+0,007
3.	3	7	51° 5′	0,6057	1,091	—0,009
4.	4	6	48° 10′	0,5553	1,108	+0,008
5.	5	5	44° 55′	0,4986	Mittel 1,102	

Aus der ersten Spalte ist ersichtlich, dass die Gesammtmenge der angewandten Lösung immer dieselbe blieb und die Concentration bei jeder folgenden um einen Raumtheil stieg, so dass die Menge der in demselben Raum vertheilten Salzatome stets um dieselbe Quantität zunimmt. Aus der Uebereinstimmung der Quotienten in der vierten Reihe folgt, dass die Absorptionscoefficienten bei verschieden concentrirten Salzlösungen in geometrischer Progression wachsen, wenn die gelösten Salzmengen in arithmeti-

scher Reihe zunehmen,[1]) so dass, wenn man mit a den Absorptionscoefficienten einer Salzlösung bezeichnet, derselbe sich für das n-Fache der gelösten Salzmenge in a^n verwandelt. Es stimmt somit, wie zu erwarten war, dies Gesetz der Abnahme der Absorptionscoefficienten mit demjenigen überein, welches bei verschiedenen Dicken ein und derselben Lösung stattfindet.

Die verhältnissmässig grosse Abweichung der unter *IV* stehenden Werthe ist wahrscheinlich dadurch bedingt, dass man bei allen Versuchen stets nur dieselbe Röhre zur Füllung benutzen konnte, so dass diese nach jeder Beobachtung, ehe sie mit der stärker concentrirten Lösung gefüllt wurde, sorgfältig ausgetrocknet werden musste und daher selbstverständlich nicht erst die oben erwähnte Zeit vor der Messung abgewartet werden konnte. Dieser Umstand, sowie auch das Titriren der Lösungen sind Fehlerquellen, welche, wie ich glaube, hinreichend die erwähnten Abweichungen erklären.

Nach allen über die Absorption von Salzlösungen angestellten Versuchen scheint es mir erwiesen, dass man auf die Ermittelung genauer Absorptionscoefficienten so lange wird verzichten müssen, bis es gelungen ist, den störenden Einfluss der Farben ganz allgemein und vollkommen zu beseitigen.

---

[1]) Dies stimmt mit den Beobachtungen von *Beer* für rothes Licht überein. Siehe Pogg. Ann. LXXXVI, 78. Bestimmung der Absorption des rothen Lichts in farbigen Flüssigkeiten.

VI.

Ueber die Lichtentwickelung in galvanisch glühenden Platindrähten.

Bei Wiederholung der über die galvanische Lichtentwickelung schon früher angestellten Versuche hat sich gezeigt, dass die dort gefundene Gesetzmässigkeit nur innerhalb sehr enger Grenzen und allein unter den dabei angegebenen Bedingungen richtig ist. Es kam vor allem darauf an, die zu glühenden Drähte so lang zu nehmen, dass der abkühlende Einfluss der Electroden vernachlässigt werden konnte.

Zu diesem Zwecke wurden Drähte von 80^{mm} Länge angewandt. Ebenso wurde auch in Rücksicht auf das von *Lenz* und *Joule* gefundene Erwärmungsgesetz der jedesmalige Leitungswiderstand gemessen und hierbei in folgender Weise verfahren.

1. Bestimmung des Leitungswiderstandes.

Da die zum Glühen der Drähte erforderlichen Ströme eine bedeutende Intensität besassen (es wurden 6 *Bunsen*sche Elemente angewandt), so musste bei Bestimmung des Widerstandes dieser Drähte auf die Erwärmung der Rheostatendrähte Rücksicht genommen und diese wo möglich verschwindend klein gemacht werden, so dass ihr Einfluss auf die Beobachtungen vernachlässigt werden konnte.

Hierzu blieb nach vielen vergeblichen Versuchen kein anderes Mittel übrig, als aus verhältnissmässig starkem Kupferdrahte einen Rheostaten von sehr grossen Dimensionen zu construiren.

Auf einem rechteckigen, hölzernen Rahmen (Figur 4, Taf. I) von 5 Fuss Höhe und 3 Fuss Breite wurden 465 Fuss Kupferdraht von $1{,}3^{mm}$ Dicke und 158 Fuss versilberter Kupferdraht von $0{,}4^{mm}$ Dicke aufgespannt, und zwar,

um den Einfluss des durch diese Drähte gehenden Stromes auf das Galvanometer zu compensiren, dergestalt, dass je zwei zunächst liegende parallele Drahtlängen von entgegengesetzten Strömen durchflossen wurden. Dies konnte auf folgende Weise erreicht werden. Fig. 5 stellt einen Theil des Rheostaten dar. Der bei a und b isolirt befestigte Draht geht zur Batterie. Bei c und e ist ein zweiter Draht befestigt, welcher jedoch von c über d bis e ununterbrochen fortläuft und durch die Verbindung v, welche auf und ab geschoben werden kann, mit dem ersten Draht $a\,b$ im Zusammenhang steht. In derselben Weise sind, wie aus der Figur ersichtlich ist, alle folgenden Drähte befestigt und verbunden, so dass, wenn sämmtliche Verbindungen v, v_1, v_2 etc. die oberen Theile der Drähte vereinigen, der Strom genöthigt ist, die ganze Länge des aufgespannten Drahtes zu durchfliessen, während er bei herabgeschobenen Verbindungen nur einen verhältnissmässig sehr kleinen Weg zu durchlaufen hat, der von den Dimensionen des Apparates abhängig ist und bei den Messungen mit in Rechnung gebracht wurde.

Die Verbindungen der Drähte bestanden aus zwei starken Kupferblechen (s. Fig. 6), die in der Mitte durch eine Schraube S angezogen und gelüftet werden konnten. Durch sorgfältiges Abreiben mit Smirgelpapier wurden die Oberflächen der sich berührenden Metallflächen stets blank gehalten.

Für die feineren Platindrähte war aber eine Länge von 465 Fuss des besagten Kupferdrahtes noch nicht ausreichend, so dass noch 158 Fuss des angegebenen versilberten Kupferdrahtes aufgespannt werden mussten. Als Verbindungen wurden bei diesem dünneren Draht sehr vortheilhaft die von *Nörrenberg* angegebenen benutzt.[1]) Die

[1]) *Müller's* Fortschritte der Physik p. 254.

Art dieser Verbindung ist unmittelbar aus der Zeichnung (Fig. 7) ersichtlich.

Dieser bedeutend dünnere Draht konnte trotz der Eingangs erwähnten Fehlerquellen ohne Beeinträchtigung der Genauigkeit angewandt werden, da die zum Glühen der dünneren Drähte erforderlichen Ströme bedeutend schwächer als die bei den starken sind und ausserdem durch besondere Versuche ermittelt worden war, dass der Leitungswiderstand dieses dünnen Drahtes innerhalb der bei den Untersuchungen vorkommenden Stromschwankungen constant bleibt und sich zu demjenigen einer gleichen Länge des starken wie 10,2 zu 1 verhält. Diese Zahl wurde als Mittel aus fünf gut übereinstimmenden Beobachtungen berechnet, so dass man also die vom dünnen Draht eingeschalteten Längen mit 10,2 zu multipliciren hat, um sie in Längen des dicken Drahtes auszudrücken.

Wie aus der Figur ersichtlich ist, wurden je 10 Fuss des starken Drahtes als Einheit angenommen und die Zehntel nach dem Stande der betreffenden Verbindung an der seitlich auf dem Rahmen des Rheostaten angebrachten Theilung geschätzt. Da es bei den folgenden Beobachtungen nur auf Verhältnisse der Widerstände ankommt, so ist natürlich die zu Grunde gelegte Einheit gleichgültig.

Beide Seiten des Holzrahmens waren auf diese Weise mit Draht überspannt, dessen Länge einem Gesammtwiderstande von 2076,6 Fuss eines 1,3^{mm} dicken Kupferdrahtes entsprach. Dieser Rheostat war, bevor er zu Widerstandsbestimmungen benutzt wurde, in allen seinen Theilen geprüft worden und hatten sich hiebei gleiche Drahtlängen, gleichgültig an welcher Stelle des Rheostaten sie eingeschaltet wurden, stets auch von gleichem Widerstande erwiesen.

2. Befestigung der glühenden Drähte.

Da bei den folgenden Versuchen der Einfluss der Drahtdicke auf die Lichtentwickelung berücksichtigt werden soll, so müssen gleichzeitig zwei Drähte aufgenommen werden. Zu diesem Zwecke ist die hölzerne, im Innern weisse Kapsel *A* (Fig. 8) von circa 80^{mm} Durchmesser an zwei gegenüberliegenden Stellen *C* und *D* kreisförmig durchbrochen. Bei *C* kann ein Metallcylinder *E* eingeschoben werden, der Fig. 9, Taf. II besonders dargestellt ist. An seiner unteren Seite bei *F* ist derselbe durch einen Aufsatz verschliessbar, der in der Mitte eine doppelt geschlitzte Klemmschraube *a* von der in der Zeichnung angegebenen Form trägt. Seitlich ist durch einen angelötheten Kupferstreifen *G* der Quecksilbernapf *Q* mit dem Aufsatze *F* metallisch verbunden. Der Oeffnung *C* (Fig. 8) gegenüber sind bei *D* zwei Kupferstreifen *M* und *N* auf die Kapsel *A* geschraubt, welche durch einen isolirenden und zu diesem Zwecke lackirten Pappstreifen von einander getrennt sind. Bei *b*, *f* und *c*, *g* sind Gefässe zur Aufnahme von Quecksilber angebracht, von denen die ersteren auf der der Oeffnung *C* zugewendeten Seite ein jedes eine feine Oeffnung zur Aufnahme der bei *a* eingeschraubten Platindrähte besitzt, welche auf diese Weise sowohl mit dem Einsatz *E* als auch mit den Quecksilbernäpfen *c* und *g* in leitender Verbindung stehen.

Die Quecksilbergefässe waren im Innern sorgfältig amalgamirt, so dass bei horizontaler Lage der Drähte durch Adhäsion das zur Leitung erforderliche Quecksilber in den Gefässen blieb.

Wie die Drähte in Spannung gehalten wurden, zeigt Fig. 10, welche die Kapsel *A* von oben gesehen darstellt. Der durch das Quecksilbergefäss *b* kommende Platindraht ist bei *l* an einen seidenen Faden geknüpft, welcher durch eine Metallfeder in der durch die Zeichnung dargestellten

Weise angespannt wurde. Die Grösse der Spannung konnte je nach der Dicke des glühenden Drahtes durch vorsichtiges Biegen der Metallfeder beliebig vermindert oder gesteigert werden, so jedoch, dass der Draht eben nur noch eine gerade Linie bildete und nicht durch sein eigenes Gewicht gekrümmt wurde.

Aus der bisherigen Beschreibung ist ersichtlich, dass man beliebig den einen oder anderen Draht in's Glühen versetzen kann, je nachdem der Zuleitungsdraht mit dem unteren oder oberen Quecksilbergefäss in Verbindung gesetzt wird.

3. Beseitigung einiger Fehlerquellen.

Die Lage der Drähte beim Glühen muss durchaus horizontal sein, indem bei vertikaler Stellung wegen des von den unteren nach den oberen Theilen des Drahtes aufsteigenden warmen Luftstromes die letzteren in Folge der geringeren Abkühlung stets stärker als die unteren Theile glühen, was bei Drähten von den angewandten Dimensionen schon sehr auffällig war. Dieser Umstand, welcher natürlich den Vorgang bei der Lichtentwickelung bedeutend compliciren musste, wurde durch die horizontale Stellung der Drähte vollkommen beseitigt.

Die abkühlende Wirkung der Electroden machte sich bei dieser Art der Befestigung der Drähte ebenfalls nur in sehr geringem Grade bemerkbar, so dass man sie mit blossem Auge nur auf verhältnissmässig sehr kurze Entfernungen von den Electroden aus verfolgen konnte. Diese schwächer glühenden Theile des Drahtes befanden sich aber einerseits innerhalb des Cylinders *E*, andrerseits im Innern der bei *D* angebrachten Oeffnung, so dass ihre Wirkung auf die Rückseite der Kapsel *A* bei der Leuchtkraft der übrigen Theile des Drahtes vernachlässigt werden konnte. Zur grösseren Vorsicht wurde aber dennoch durch ein Dia-

phragma von 15^{mm} Oeffnung nur die Lichtentwickelung der mittleren Theile des Drahtes gemessen und auf diese Weise jeder störende Einfluss der Electroden auf die entwickelte Lichtmenge beseitigt.

Die Entfernung der parallel über einander ausgespannten Drähte betrug 1,5^{mm} und es war nothwendig, durch Versuche zu ermitteln, ob die innerhalb dieser Grenze veränderte Lage des glühenden Drahtes von Veränderungen der auf die matte Glasplatte des Photometers gesandten Lichtmenge begleitet sei. Zu diesem Zwecke wurden zwei Drähte von gleichen Dicken eingespannt und dieselben bei gleicher Stromstärke abwechselnd in's Glühen versetzt. Es zeigte sich hierbei durchaus kein Unterschied, sondern die Lichtentwickelung war stets dieselbe, gleichgültig ob man den oberen oder unteren Draht zum Glühen brachte. Zu bemerken ist jedoch, dass bei allen diesen Messungen die vordere Glasplatte so weit wie möglich von den Drähten nach dem Innern des Photometers entfernt wurde, um den durch die veränderte Lage des glühenden Drahtes bedingten Unterschied in den Auffallswinkeln der ausgesandten Strahlen so klein wie möglich zu machen. Wie die Versuche ergaben, war dieselbe durchaus ohne Einfluss auf die Beobachtungen.

4. Die constante Lichtquelle.

Als constante Lichtquelle wurde eine Gasflamme angewandt, welche aus einer circa 3^{mm} weiten Glasröhre ausströmte und durch eine circa 140^{mm} weite Umhüllung von Blech gegen Luftschwankungen gesichert war. Durch Anwendung eines Cylinders von 20^{mm} Weite und 270^{mm} Höhe erhielt man eine vollkommen constante und unbewegliche Flamme, deren Spitze nach dem Vorgange *Bunsens* [1]) durch

[1]) Poggend. Annal. Bd. C, p. 481.

ein in 7 Fuss Entfernung aufgestelltes Fernrohr mit Fadenkreuz controllirt wurde. Da vermittelst eines Diaphragmas nur der hellste Theil der Flamme benutzt wurde, so waren selbst Schwankungen von 10—15^{mm} im Photometer nur schwer bemerkbar; dessenungeachtet hielt man die Flamme stets bis auf 5^{mm} genau eingestellt.

5. Das Galvanometer.

Die Ströme, welche unsere sogenannten constanten Ketten liefern, sind bekanntlich nur innerhalb gewisser Grenzen constant, zwischen denen sie grösseren und kleineren Schwankungen unterworfen sind. Da nun die absolute Grösse dieser Schwankungen mit der Zeit wächst, und es bei den weiter unten zu beschreibenden Versuchen darauf ankam, den Strom während einmaliger Unterbrechung auf derselben Intensität zu erhalten, so musste der Magnet nach Schliessung des Stromes so schnell wie möglich in seiner neuen Gleichgewichtslage zur Ruhe gebracht werden, um die Intensität des Stromes bequem ablesen zu können.

Um dies zu erreichen, wandte ich ein Spiegelgalvanometer mit magnetisirtem Stahlspiegel an, welcher nach der von *Wiedemann* angegebenen Construction [1]) innerhalb einer starken massiven Kupferhülse an einem feinen Coconfaden aufgehängt war. Die Dämpfung war nach *möglichst starker Magnetisirung des Spiegels* so vollkommen, dass selbst nach den grössten Oscillationen, welche durch Oeffnen und Schliessen des Stroms erzeugt werden konnten, der Spiegel schon nach 5—6 Secunden völlig zur Ruhe kam. Dem Spiegel gegenüber war in den von *Nervander* angegebenen Dimensionen und Entfernungen ein Ring aus starkem Kupferdraht befestigt, dessen Enden noch circa 1 Fuss weit parallel fortgeführt waren und sich in Quecksilbernäpfen endigten.

---

[1]) Pogg. Ann. Bd. LXXXIX, p. 497.

Der Abstand der Scale vom Spiegel betrug 1045^{mm}. Um den Ablenkungswinkel zu verkleinern, wurde durch eine Verbindung der beiden Quecksilbernäpfe des Galvanometers der Strom abgezweigt, so dass nur ungefähr der sechste Theil des angewandten Stromes den Ring der Tangentenbussole durchlief und die grösste Ablenkung des Spiegels nicht mehr als 10° 30′ betrug.

6. Beschreibung der Versuche.

Um einen möglichst klaren Einblick in den Gang der einzelnen Beobachtungen zu erhalten, ist Fig. 11, Taf. II die Anordnung der Apparate schematisch dargestellt. B ist die galvanische Batterie, R ein Neusilber-Rheostat, um grössere Unterschiede in der Stromstärke zu bewirken. R_1 ist ein Rheostat nach *Neumann's* Construction mit Platindrähten und Quecksilberverbindung, um die kleinsten Variationen in der Stromstärke herstellen zu können, R_2 der oben beschriebene Rheostat zur Bestimmung des Widerstandes der glühenden Drähte. Der Leitungsdraht q geht direct von der Batterie in den Quecksilbernapf g des Galvanometers T, dessen Ablenkungen durch ein Fernrohr beobachtet werden können. Der Leitungsdraht p führt zu einem der hinteren Quecksilbergefässe der oben beschriebenen Kapsel, so dass der Strom, wenn q der positive Pol ist, folgenden Weg durch alle Theile des Apparats nimmt: von q über g durch den Kreis der Bussole ununterbrochen über h bis v; von v durch den Rheostat R_2, den er bei S verlässt; von hier durch den Rheostat R_1 über c hinaus durch den Rheostat R und endlich durch den Platindraht zwischen a und b nach p.

Wie man sieht, ist überall auf eine möglichst parallele Lage der beiden Leitungsdrähte Rücksicht genommen, um jede Einwirkung auf das Galvanometer zu vermeiden. Dass dieser Zweck erreicht war, zeigten einige Versuche mit Ausschaltung des Galvanometers.

Mit diesem Apparate wurden nun die Beobachtungen auf folgende Weise angestellt. Nachdem in der oben beschriebenen Weise die beiden ungleich starken Platindrähte eingespannt waren, wurde zunächst mit Ausschaltung des Rheostaten R_2 der Strom geschlossen, wodurch der betreffende Draht in's Glühen versetzt wurde. Das Gesichtsfeld des Photometers wurde nun zuerst mit einem rothen (Kupferoxydul), dann mit einem grünen (Chromoxyd) Glase beobachtet. Von der Complementarität dieser Gläser hatte man sich zuvor mit Hülfe des Spectrums überzeugt. Das rothe Glas löschte fast genau alle Strahlen vom Violett bis zur *Fraunhofer*'schen Linie *D* aus, während das grüne Glas diese und noch einen kleinen Theil mehr durchliess, so dass bei Uebereinanderlegung beider Gläser eine sehr intensive Lichtquelle noch roth erscheinen musste. Dessen ungeachtet konnten die beiden Gläser bei den photometrischen Messungen ohne Bedenken als vollkommen complementäre benutzt werden, indem beide über einander gelegt für die hierbei vorkommenden Lichtmengen vollständig undurchsichtig waren.

Die mit dem rothen Glase beobachteten Winkel wurden bei allen Drähten nach einander auf 10°, 15°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70° eingestellt und der Strom mittelst des Rheostaten R_1 so regulirt, dass beide Hälften des Gesichtsfeldes im Photometer gleich waren. Hierauf wurde bei derselben Stromstärke mit dem grünen Glase beobachtet, und da jetzt wegen der überwiegend rothen Strahlen des glühenden Platindrahtes beide Hälften ungleich waren, so musste durch Drehen des Nicols im Ocular die Gleichheit beider Theile wieder hergestellt werden. Nachdem der hierbei beobachtete Winkel notirt war, wurde der andere Draht in's Glühen versetzt und mittelst der Rheostaten R und R_1 die Stromstärke so regulirt, dass die Lichtentwickelung derjenigen beim ersten Drahte gleich war, d. h. dass

mit Vorsetzung des rothen Glases und Einstellung des Photometers auf denselben Winkel beide Theile des Gesichtsfeldes gleich waren. Bei der Beobachtung durch das grüne Glas musste die Gleichheit wie vorher durch Veränderung des Winkels am Oculare hergestellt werden. Es zeigte sich, dass dieser Winkel bei den angewandten Drahtdicken in beiden Fällen nahezu derselbe war, so dass in den folgenden Tabellen zur Bestimmung dieses Winkels das arithmetische Mittel aus sämmtlichen Beobachtungen genommen werden konnte.

Nachdem bei den acht verschiedenen Einstellungen des Photometers die Stromstärken bestimmt waren, welche erforderlich sind, in beiden Drähten dieselbe Lichtmenge zu entwickeln, wurden die Widerstände bei diesen Stromstärken bestimmt. Zu diesem Zwecke wurde mittelst der Rheostaten R und R_1 der Strom auf die zuvor beobachteten Intensitäten genau eingestellt. Nachdem dies geschehen, wurde der betreffende Platindraht aus- und der Rheostat R_2 eingeschaltet. Entsprach nun der am Rheostaten eingeschaltete Widerstand demjenigen des Platindrahtes, so musste sich, unter Voraussetzung eines vollkommen constanten Stromes, das Galvanometer genau wieder auf die vorher beobachtete Ablenkung einstellen. Die Voraussetzung eines vollkommen constanten Stromes ist aber unzulässig, und da das Einstellen des Rheostaten R_2 nach Massgabe der eingeschalteten Drahtlängen einige Zeit in Anspruch nahm, so wurde das abwechselnde Einschalten des Platindrahtes und des Rheostaten so lange wiederholt, bis je zwei schnell auf einander folgende Beobachtungen bei eingeschaltetem Platindraht und Rheostaten dieselbe Ablenkung des Galvanometers ergaben.

Da mittelst Quecksilberverbindungen das Ein- und Ausschalten sehr schnell besorgt werden konnte und das Galvanometer, wie oben bemerkt, sich schon nach circa vier

Secunden einstellte, so konnte man während dieser kurzen Zeit die Stromschwankungen vernachlässigen und die am Rheostaten R_2 eingeschalteten Drahtlängen als Mass für den Widerstand des glühenden Platindrahtes betrachten. Wie man sieht, sind die Widerstandsbestimmungen sehr mühsam und zeitraubend, so dass in der That *eine* dieser Bestimmung durchschnittlich 15—20 Minuten in Anspruch nahm und die Hülfe eines zweiten Beobachters für die Ablesungen am Galvanometer durchaus erforderlich machten.

7. Ergebnisse der Beobachtungen.

Von den folgenden Beobachtungsreihen enthält Tab. I die am Photometer gemessenen Intensitäten der Lichtentwickelung. Unter ϱ sind die Winkel angegeben, wie sie noch vor der Schliessung des Stromes eingestellt wurden, so dass mit Hülfe des Rheostaten die Gleichheit des Gesichtsfeldes hergestellt werden musste. Unter χ sind diejenigen Winkel angegeben, wie sie bei derselben Stromstärke mit Anwendung des grünen Glases eingestellt werden mussten, um das Gesichtsfeld homogen zu machen. Unter $I\varrho$ und $I\chi$ findet man die aus den entsprechenden Winkeln berechneten Intensitäten, wobei jedoch zu bemerken ist, dass die verschieden gefärbten Lichter auf besondere, ihrem Verhältniss nach unbekannte Einheiten bezogen sind, und daher zwischen $I\varrho$ und $I\chi$ in obiger Tabelle keine Relation zu suchen ist.

Die Tabellen II—V enthalten unter S die Stromstärke, unter R den Widerstand und unter W die aus R und S berechnete Wärmemenge,[1]) welche der Draht entwickelt. Die zu Grunde gelegten Einheiten sind willkürliche, da es hier nur auf Verhältnisse ankommt. Die Nummern der Beobachtung stimmen mit denen der Tabelle I überein, so dass

---

[1]) $W = S^2R$.

man aus der letzteren stets die Intensität der Lichtentwickelung für die einzelnen Nummern der Tabellen II—V ersehen kann. In der letzten Spalte einer jeden Tabelle ist das Verhältniss der Stromstärken angegeben, wie es zur Herstellung der gleichen Lichtentwickelung in den entsprechenden Drähten erforderlich war. Die Nummern der verglichenen Drähte sind mit römischen Ziffern angegeben und das Verhältniss ihrer Durchmesser ist einer jeden Tabelle unter *d* beigesetzt.

Durchmesser und Bezeichnung der angewandten Platindrähte.[1])

Nro.	*D*
I.	0,1785^{mm}
II.	0,1661^{mm}
III.	0,1466^{mm}
IV.	0,1035^{mm}
V.	0,0782^{mm}

Tabelle I.

Nr. d. Beob.	ϱ	$I\varrho$	χ	$I\chi$
1.	10°	0,0301	5° 5′	0,0078
2.	15°	0,0670	7° 35′	0,0174
3.	20°	0,1170	11° 40′	0,0409
4.	30°	0,2500	16° 45′	0,0831
5.	40°	0,4132	23° 40′	0,1611
6.	50°	0,5868	29° 40′	0,2450
7.	60°	0,7500	35° 0′	0,3290
8.	70°	0,8830	41° 10′	0,4333

[1]) Die Durchmesser wurden aus der Länge, dem absoluten und specifischen Gewicht der Drähte bestimmt. Das specifische Gewicht des Platins wurde hierbei gleich 21,55 angenommen.

Tabelle II.

(Die mit * bezeichneten Werthe sind interpolirt.)

	Nro. I.		$d = 2{,}282$		Nro. V.		
Nr. d. Beob.	S	R	W	S_1	R_1	W_1	$\frac{S}{S_1}$
1.	160,7	17,8	4597	61,7	138,3	5265	2,605
2.	163,5	18,8	5026	63,2	140,3	5604	2,587
3.	170,4	20,0	5807	65,2	146,4	6224	2,614
4.	175,9	20,7*	6405	67,2	155,0*	7000	2,618
5.	180,0	21,2	6869	68,7	161,5	7622	2,620
6.	183,6	21,6*	7308	70,1	167,0*	8207	2,619
7.	184,5	21,8*	7421	70,6	168,8*	8413	2,613
8.	186,3	22,0	7611	71,1	170,7	8629	2,616
						Mittel =	2,612

Tabelle III.

	Nro. I.		$d = 1{,}725$		Nro. IV.		
Nr. d. Beob.	S	R	W	S_1	R_1	W_1	$\frac{S}{S_1}$
1.	153,8	19,0	4494	79,5	79,1	5000	1,934
2.	157,9	20,1	5011	81,5	81,1	5387	1,937
3.	162,5	20,5	5413	83,5	85,2	5948	1,945
4.	168,1	21,2*	5984	85,8	87,2*	6345	1,969
5.	172,7	21,8	6502	88,2	89,2	6947	1,962
6.	173,6	21,9*	6600	89,7	91,2*	7338	1,935
7.	175,0	22,1*	6768	90,2	91,8*	7469	1,940
8.	176,3	22,3	6908	90,7	92,4	7601	1,941
						Mittel =	1,945

Tabelle IV.

	Nro. II.		$d = 1{,}605$	Nro. IV.			
Nr. d. Beob.	S	R	W	S_1	R_1	W_1	$\frac{S}{S_1}$
1.	146,0	21,0	4476	89,2	61,8	4917	1,637
2.	150,7	21,6	4905	90,7	63,8	5249	1,662
3.	153,8	22,5	5322	93,2	64,8	5629	1,650
4.	159,1	23,3*	5868	95,6	66,8*	6105	1,660
5.	162,1	23,8	6254	98,1	68,9	6631	1,652
6.	165,3	24,2*	6629	100,5	72,3*	7303	1,645
7.	167,6	24,6*	6910	101,4	73,7*	7578	1,653
8.	170,4	25,0	7259	102,4	75,0	7864	1,664
						Mittel =	1,653

Tabelle V.

	Nro. II.		$d = 1{,}139$	Nro. III.			
Nr. d. Beob.	S	R	W	S_1	R_1	W_1	$\frac{S}{S_1}$
1.	149,8	20,7	4645	127,1	29,0	4685	1,179
2.	152,9	21,2	4956	131,8	30,8	5350	1,160
3.	157,4	22,6	5635	134,1	31,6	5683	1,178
4.	162,5	23,1*	6100	139,4	32,8*	6374	1,166
5.	168,1	23,8	6725	142,0	33,5	6755	1,184
6.	172,2	24,5*	7256	145,0	34,3*	7216	1,188
7.	173,6	24,7*	7444	146,0	34,6*	7375	1,189
8.	175,4	25,0	7691	147,3	35,0	7594	1,190
						Mittel =	1,179

Um die Abhängigkeit der Lichtentwickelung von der entwickelten Wärmemenge leichter übersehen zu können, ist auf Taf. III diese Function graphisch dargestellt. Die Wärmemengen sind als Abscissen, die entsprechenden Intensitäten des rothen und grünen Lichtes als Ordinaten aufgetragen. Die Zahlenwerthe sind aus Tabelle III vom Drahte Nro. IV genommen.

8. Vergleichung der erhaltenen Resultate mit den Beobachtungen von Müller.

Ueber das Glühen von Metalldrähten durch den galvanischen Strom sind meines Wissens nur von Herrn Prof. *Müller* in Freiburg Versuche angestellt worden,[1]) welche mit den hier veröffentlichten mehr oder weniger denselben Zweck verfolgen und daher eine nähere Berücksichtigung verlangen.

Es wurden Versuche mit Drähten von verschiedenen Metallen angestellt, und alle führten zu dem Resultat, dass *um denselben Grad des Glühens hervorzubringen, die Stromstärke dem Durchmesser der Drähte proportional sein muss.* Hierbei ist zu bemerken, dass die „Grade des Glühens" mit blossem Auge geschätzt und durch folgende Kategorieen bezeichnet wurden: „Schwaches Glühen", „Rothglühen", „Hellrothglühen", „fast Weissglühen". Aus diesen Bezeichnungen geht hervor, dass Hr. *Müller* nicht die gesammte entwickelte Lichtmenge, sondern nur diejenige gleicher Flächenräume der glühenden Drähte vergleicht, welche allein durch die Temperatur der Oberfläche bedingt sein kann.

Die Zuverlässigkeit dieser blos durch Schätzung erhaltenen Resultate, die bei feinen Drähten und höheren Gra-

---

[1]) *J. Müller*, Bericht über die neuesten Fortschritte der Physik pag. 384. — Dessen Lehrbuch der Physik 5te Auflage, Bd. II, p. 231—234.

den des Glühens durch die Irradiation noch bedeutend verringert wird, darf dessen ungeachtet nicht zu niedrig angeschlagen werden, da nach den oben mitgetheilten Tabellen die Lichtentwickelung mit steigender Stromstärke ungemein schnell wächst. So steigt z. B. gleich bei der ersten und zweiten Beobachtung in Tabelle II Draht Nro. I die Stromstärke von 160,7 auf 163,5, während nach Tabelle I die Intensität des rothen Lichtes bei diesen Stromstärken von 0,0301 bis 0,0669 steigt, d. h. es entspricht in diesem Falle einer Veränderung der Stromstärke von circa $1/50$ eine Veränderung der ausgestrahlten Lichtmenge um mehr als das Doppelte ihrer ursprünglichen Grösse. Obgleich nach den obigen Beobachtungsreihen dieses Verhältniss bei höheren Graden des Glühens kleiner wird, so ist der Unterschied doch immer noch so bedeutend, dass die selbst nur durch Schätzung der Leuchtkraft erhaltenen Resultate jedenfalls berücksichtigt werden müssen. Es handelt sich also darum, zu untersuchen, in wie weit die Ergebnisse der *Müller*'schen Beobachtungen mit den meinigen übereinstimmen.

Wie schon bemerkt, hat Hr. *Müller* nicht die gesammten Lichtmengen der glühenden Drähte verglichen, sondern nur die Grade des Glühens nach den oben gegebenen Bezeichnungen, wobei wir nothwendig annehmen müssen, dass die Temperaturen der beiden Drähte in diesem Falle gleich sind. Da sich aber nun die ausgestrahlten Gesammtlichtmengen zweier glühenden Drähte von verschiedener Dicke und gleicher Temperatur wie die Oberflächen dieser Drähte verhalten, so müssen auch umgekehrt die Temperaturen dieser Drähte (also auch die Grade ihres Glühens) gleich sein, wenn sich die ausgestrahlten Gesammtlichtmengen wie ihre Oberflächen verhalten. Hiernach ist es leicht, die Beobachtungen *Müllers* mit unseren Resultaten zu vergleichen.

Aus Tabelle I ist ersichtlich, dass schon bei der zweiten Beobachtung ($\varrho = 15^0$, $\chi = 7^0\ 35'$) die Lichtentwicke-

lung mehr als das Doppelte von der zuerst beobachteten Lichtmenge beträgt und zu der letzteren in einem Verhältniss steht, welches wenig von dem Durchmesserverhältniss der Drähte Nro. I und Nro. V abweicht. Es besitzt folglich der Draht Nro. I bei der zweiten Beobachtung nahezu denselben Grad des Glühens, wie der Draht Nro. V bei der ersten. Das Verhältniss der Stromstärken ist in diesem Falle 2,65, während es für gleiche Gesammtlichtentwickelung nach Tabelle II gleich 2,605 ist. Der Unterschied dieser beiden Werthe muss offenbar bei den folgenden Tabellen noch weniger erheblich sein, und zwar um so weniger, je kleiner das Durchmesserverhältniss der angewandten Drähte ist. *Wir können also mit Vernachlässigung dieser Differenz die in den Tabellen befindlichen Verhältnisse der Stromstärken für gleiche Gesammtentwickelung auch für gleiche Grade des Glühens setzen.*

Da nun nach *Müllers* Beobachtungen diese Werthe mit den Durchmesserverhältnissen der angewandten Drähte übereinstimmen sollten, er jedoch selber seine Zahlen nur als erste Annäherungen bezeichnet, so können nach den oben angegebenen Werthen dieser Grössen die Ergebnisse unserer Beobachtungen, wie ich glaube, im Wesentlichen als übereinstimmend betrachtet werden.

9. Erklärung der erhaltenen Resultate.

Bezeichnen wir mit S und S_1 die Stromstärken, welche erforderlich sind, um in zwei Drähten von dem Durchmesserverhältniss d den gleichen Grad des Glühens, das ist die gleiche Temperatur zu erzeugen, so müsste unter der Voraussetzung, dass ein d mal dickerer Draht ceteris paribus auch d mal so viel Wärme an die Umgebung abgiebt, folgende Beziehung nach dem galvanischen Erwärmungsgesetze zwischen den Stromstärken beider Drähte stattfinden:

$$S = S_1 \sqrt{d^3}.$$

Diese Beziehung stimmt sowohl nach Hrn. *Müllers* als auch nach meinen Beobachtungen durchaus nicht mit der Erfahrung überein. Der letzteren entspricht vielmehr annähernd folgende Gleichung:

$$S = dS_1.$$

Den Grund dieser auffallenden Differenz glaubt Herr *Müller* darin zu finden, „dass ein n mal dickerer Draht bei n-facher Wärmeentwickelung zwar an der Oberfläche dieselbe Temperatur haben kann, im Innern aber wahrscheinlich heisser sein wird als der dünnere, so dass man *durch die äusseren Schichten hindurch* ein stärkeres Glühen beobachtet."

Berücksichtigen wir jedoch die uns bis jetzt über die Abkühlung horizontaler Cylinder bekannten Thatsachen, so brauchen wir, wie ich glaube, nach dem Folgenden nicht zu dieser Hypothese unsere Zuflucht zu nehmen, um jene Differenz zwischen Theorie und Erfahrung zu erklären.

Gestützt auf die früheren Arbeiten von *Dulong* und *Petit*[1]) hat *Péclet*[2]) neuerdings auch Versuche über die Wärmeabgabe horizontaler Cylinder von constanter Temperatur angestellt, und dadurch gezeigt, dass die oben für die Wärmeabgabe zweier verschieden dicker Drähte von gleicher Temperatur gemachte Annahme durchaus unrichtig ist. Nach seinen Versuchen giebt ein Cylinder für die Flächeneinheit desto weniger Wärme an die Umgebung ab, je grösser sein Durchmesser ist, so dass also das Verhältniss der abgegebenen Gesammtwärmemengen stets kleiner als das der Oberflächen sein muss.

Obgleich sich die Existenz eines solchen Unterschiedes

---

[1]) Annales de chimie et de physique T. 7, p. 113.

[2]) *Péclet*, Nouveaux documents relatifs au chauffrage et à la ventilation des établissements publics suivis de nouvelles recherches sur le refroidissement et la transmission de la chaleur. Paris 1853.

mit Leichtigkeit durch das Aufsteigen der erwärmten Luftschichten erklären lässt, so ist doch die Grösse desselben jedenfalls unerwartet. So ergaben z. B.[1]) zwei Cylinder mit den Halbmessern $0{,}016^m$ und $0{,}1^m$ für das Verhältniss der abgegebenen Gesammtwärmemengen 3,42, während dasjenige ihrer Oberflächen 6,25, also nahe das Doppelte ist.

Wendet man die von *Péclet* für die Wärmeabgabe horizontaler Cylinder aufgestellten Formeln[2]) auf Drähte an,

---

[1]) L. c. p. 146.

[2]) Nach *Dulong* und *Petit* hat man für die abgegebene Gesammtwärmemenge

$$W = ma^{\theta}\,(a^t - 1) + m_1 t^{1{,}233}.$$

θ bedeutet die Temperatur der Umgebung, t den Ueberschuss der Temperatur des Körpers über die der Umgebung, a eine constante Zahl $= 1{,}0077$, m eine constante Zahl, welche von der Natur der Oberfläche des strahlenden Körpers abhängt. m ist ein für jeden Fall besonders zu bestimmender Werth. *Péclet*, welcher als Zeiteinheit die Stunde, als Flächeneinheit den Quadratmeter annimmt, bestimmte die obigen Constanten zu folgenden Werthen: $m = 124{,}72\ K$, worin K für jeden Körper eine Constante ist, für blankes Silber z. B. 0,13, $m_1 = 0{,}552\ K_1$, worin K_1 für horizontale Cylinder gleich

$$2{,}058 + \frac{0{,}0382}{r}.$$

r bedeutet den Radius des Cylinders. Die Werthe dieser Formeln sind bis zu einer Temperatur von 260^0 C. geprüft. Nehmen wir an, die angewandten Drähte seien von Silber, so ergeben sich nach dieser Formel bei einer Temperatur der Umgebung von 20^0, der Drähte von 260^0 für die Gesammtwärmeabgabe der verschiedenen Drähte folgende Werthe, wobei die Gesammtwärmeabgabe des Drahtes Nro. I als Einheit angenommen ist:

Nro. I = 1,000
„ II = 0,997
„ III = 1,000
„ IV = 1,010
„ V = 0,996

welche die bei diesen Untersuchungen angegebenen Dimensionen besitzen, so zeigt sich, dass die Wärmeabgabe für gleiche Drahtlängen fast unabhängig von dem Durchmesser ist und daher innerhalb gewisser Grenzen zwei verschieden dicke aber gleich lange Drähte nahezu dieselbe Wärmemenge abgeben. Die Rechnung wurde für Silberdrähte ausgeführt, da eine in der Formel für Platin nothwendige Constante (K_1) nicht ermittelt war. Abgesehen von den Dimensionen der Drähte wurden alle Werthe der Formel innerhalb derjenigen Grenzen angewandt, für welche sie von ihren Urhebern aufgestellt und geprüft worden ist.

Vergleicht man dies Resultat mit meinen Beobachtungen, so wird es durch dieselben vollkommen bestätigt, indem aus Tabelle II bis V ersichtlich ist, dass *für gleiche Grade des Glühens unabhängig von der Drahtdicke nahezu dieselbe Wärmemenge an die Umgebung abgegeben wird.*

Bezeichnen wir daher mit S, S_1, R, R_1 die Stromstärken und Widerstände, welche zwei gleich lange aber verschieden dicke Drähte besitzen müssen, um den gleichen Grad des Glühens zu zeigen, so haben wir jetzt folgende Beziehung:

$$S^2R = S^2{}_1R_1 \text{ oder } \frac{S}{S_1} = \sqrt{\frac{R_1}{R}}.$$

Da aber in diesem Falle die Temperaturen beider Drähte gleich sind, so müssen sich ihre Widerstände umgekehrt wie die Quadrate ihrer Durchmesser verhalten, so dass, wenn S_1 und R_1 in der obigen Gleichung dem dünneren Drahte entsprechen und d das Durchmesserverhältniss des dickeren zum dünneren Drahte bezeichnet, man folgende Gleichung hat:

$$\frac{S}{S_1} = d \text{ oder } S = dS_1,$$

welche Beziehung mit der oben empirisch gefundenen identisch ist.

Die mitgetheilten Beobachtungsreihen zeigen jedoch, dass diese Gleichung nur annähernd durch die Erfahrung bestätigt wird, indem die Werthe von $\frac{S}{S_1}$ stets ein wenig grösser als diejenigen von d sind, so zwar, dass im Allgemeinen mit wachsendem d diese Differenz zuzunehmen scheint.

Es lässt sich dieser Umstand, wie ich glaube, einfach aus dem abkühlenden Einfluss der Electroden auf die Enden der glühenden Drähte erklären, indem hierdurch der Leitungswiderstand vermindert und dadurch zugleich die Stromstärke vermehrt werden muss. Da nun diese Abkühlung offenbar mit wachsender Drahtdicke zunimmt, so wird ihr Einfluss desto merklicher sein, je verschiedener die Durchmesser der glühenden Drähte sind.

Abgesehen hiervon und ohne auf die Uebereinstimmung unserer Resultate mit den *Dulong-Péclet*'schen Formeln (wegen der theilweis veränderten Bedingungen) ein allzugrosses Gewicht zu legen, glaube ich doch gezeigt zu haben, dass die bis jetzt über die Wärmeabgabe horizontaler Cylinder bekannten Thatsachen ausreichend sind, um die oben erwähnte und von *Müller* zuerst beobachtete Anomalie auf eine einfache Weise zu erklären.

Wie zu erwarten war, konnte wegen der complicirten Vorgänge bei der Wärmeabgabe an die Luft keine einfache Beziehung zwischen Stromstärke, Wärme- und Lichtentwickelung aufgefunden werden. Ich beabsichtige deshalb demnächst dieselben Versuche im luftleeren Raume zu wiederholen, wo sich dann nach der oben mitgetheilten Abkühlungsformel vermuthlich diese Beziehungen einfacher gestalten werden.

Durch Anstellung dieser Versuche in verschiedenen Gasen lässt sich vielleicht das Verhältniss der Abkühlungs-

fähigkeiten derselben auch für sehr hohe Temperaturen bestimmen und dadurch zugleich experimentell die Richtigkeit der von *Poggendorff* und *Clausius* gegebenen Erklärungsweise [1]) für die zuerst von *Grove* bei galvanisch glühenden Platindrähten beobachtete Eigenthümlichkeit [2]) nachweisen.

Es liegt ferner der Gedanke nahe, auf die hier mitgetheilten Untersuchungen hin eine photometrische Einheit zu gründen. Als solche würde man die Lichtmenge aufstellen können, welche in einem Platindraht von gegebenen Dimensionen (etwa von 1 Centimeter Länge und 0,1 Millimeter Dicke) durch einen galvanischen Strom von bestimmter Intensität (am besten im luftleeren Raume) entwickelt wird. Als Hindernisse bei der practischen Anwendung dürften sowohl die Farbenunterschiede der mit dieser Einheit verglichenen Lichtquelle, als auch das schnelle Wachsen der ausgestrahlten Lichtmenge mit steigender Stromstärke bezeichnet werden. Dennoch möchten sich bei Anwendung anderer Lichtquellen zu dem genannten Zweck vielleicht noch grössere Schwierigkeiten in den Weg stellen, da sich die Umstände, welche die Leuchtkraft modificiren, schwerlich auf so einfache Bedingungen wie im vorliegenden Falle zurückführen lassen.

Ich behalte mir vor, die hier am Schlusse angeregten Punkte zum Gegenstand einer weiteren Untersuchung zu machen.

---

[1]) Pogg. Ann. Bd. LXXI, p. 187, und Bd. LXXXVII, p. 501.

[2]) Philosophical Magazine V, 35, pag. 114 und Pogg. Ann. Bd. LXXVIII, pag. 366.

INHALT.

Seite

Vorwort 5

I. Ueber die photometrischen Methoden 7

A. Apparate ohne Anwendung der Polarisation 7

B. Apparate mit Anwendung der Polarisation 10

a. Apparate mit Anwendung der achromatischen Polarisation 11

b. Apparate mit Anwendung der chromatischen Polarisation 13

C. Die Dauer des Lichteindrucks als photometrisches Princip 17

II. Ueber das Intensitätsverhältniss verschiedenfarbiger Strahlen 18

III. Ueber das zu den vorliegenden Untersuchungen angewandte Photometer 21

A. Construction für indirecte Messungen 21

B. Construction für directe Messungen 24

IV. Ueber die Leistungsfähigkeit des beschriebenen Photometers 25

V. Ueber die Absorption des Lichtes in Flüssigkeiten 27

VI. Ueber die Lichtentwickelung in galvanisch glühenden Platindrähten 31

1. Bestimmung des Leitungswiderstandes 31

2. Befestigung der glühenden Drähte 34

3. Beseitigung einiger Fehlerquellen 35

4. Die constante Lichtquelle 36

5. Das Galvanometer 37

6. Beschreibung der Versuche 38

7. Ergebnisse der Beobachtungen 41

8. Vergleichung der erhaltenen Resultate mit den Beobachtungen von Müller 45

9. Erklärung der erhaltenen Resultate 47

Schluss-Bemerkungen 51

Tafel I.

Fig. 1.

Fig. 2.

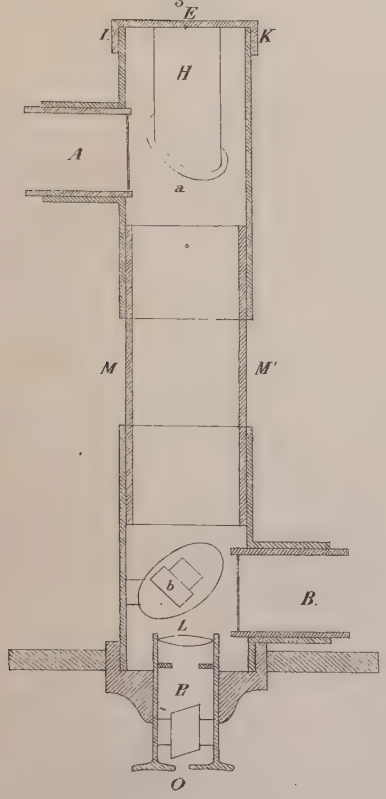


Fig. 3. b.

Fig. 3. a.

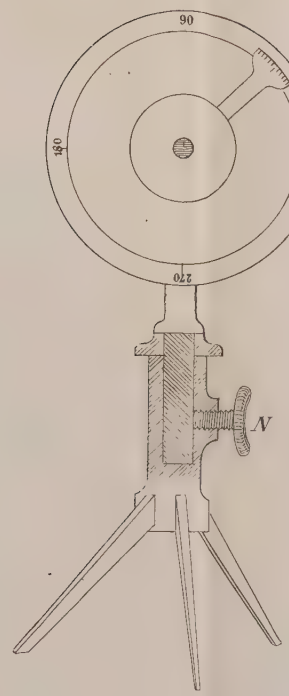


Fig. 4.

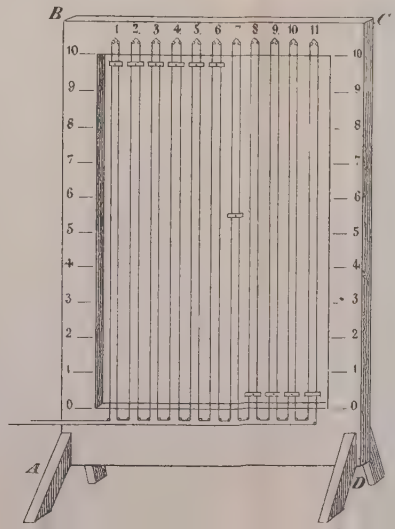


Fig. 5.

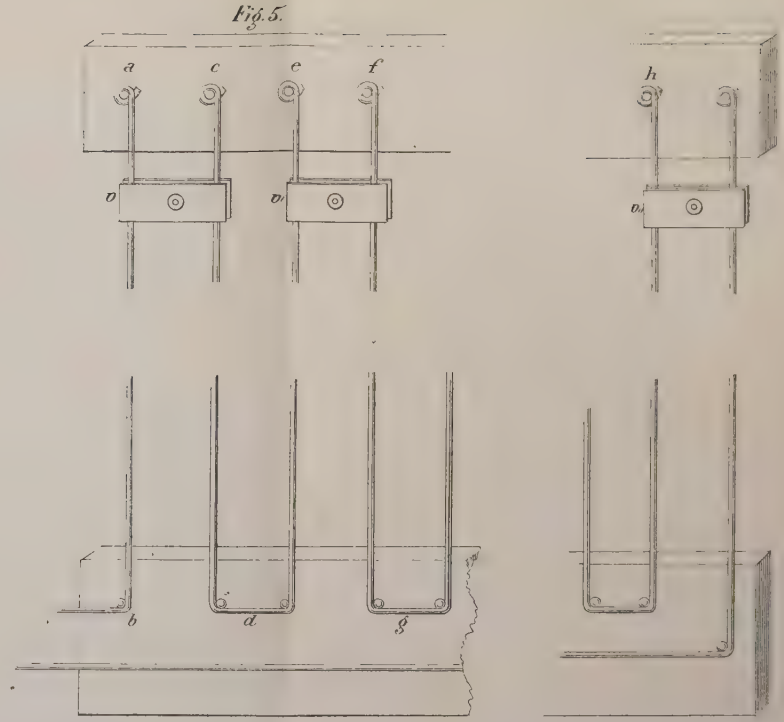


Fig. 6.

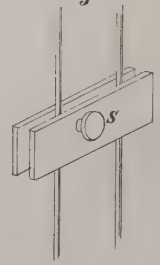


Fig. 7.

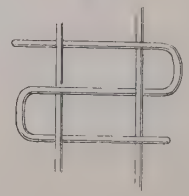
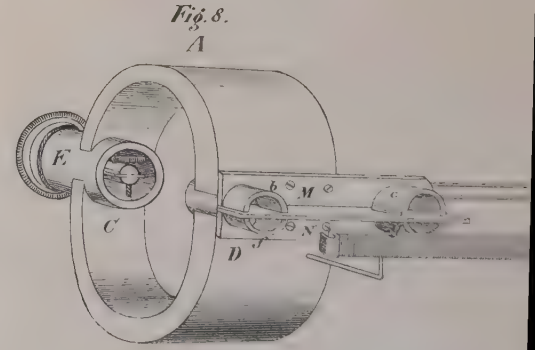


Fig. 8.



Tafel II.

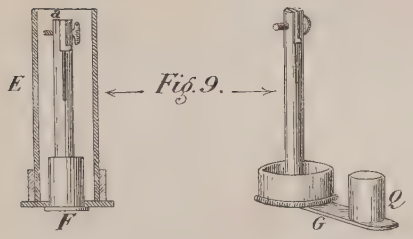


Fig. 10.

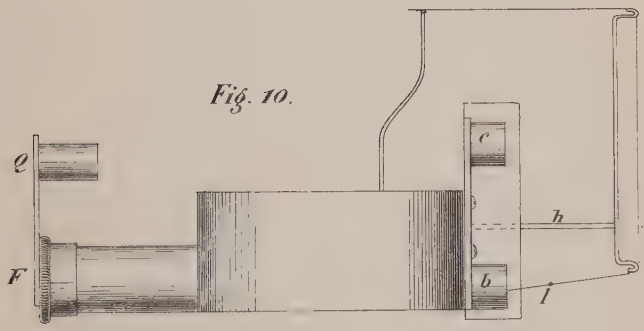
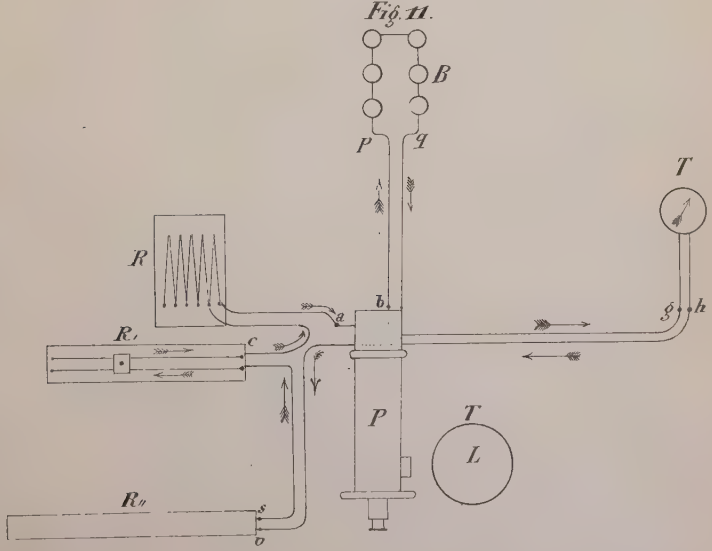
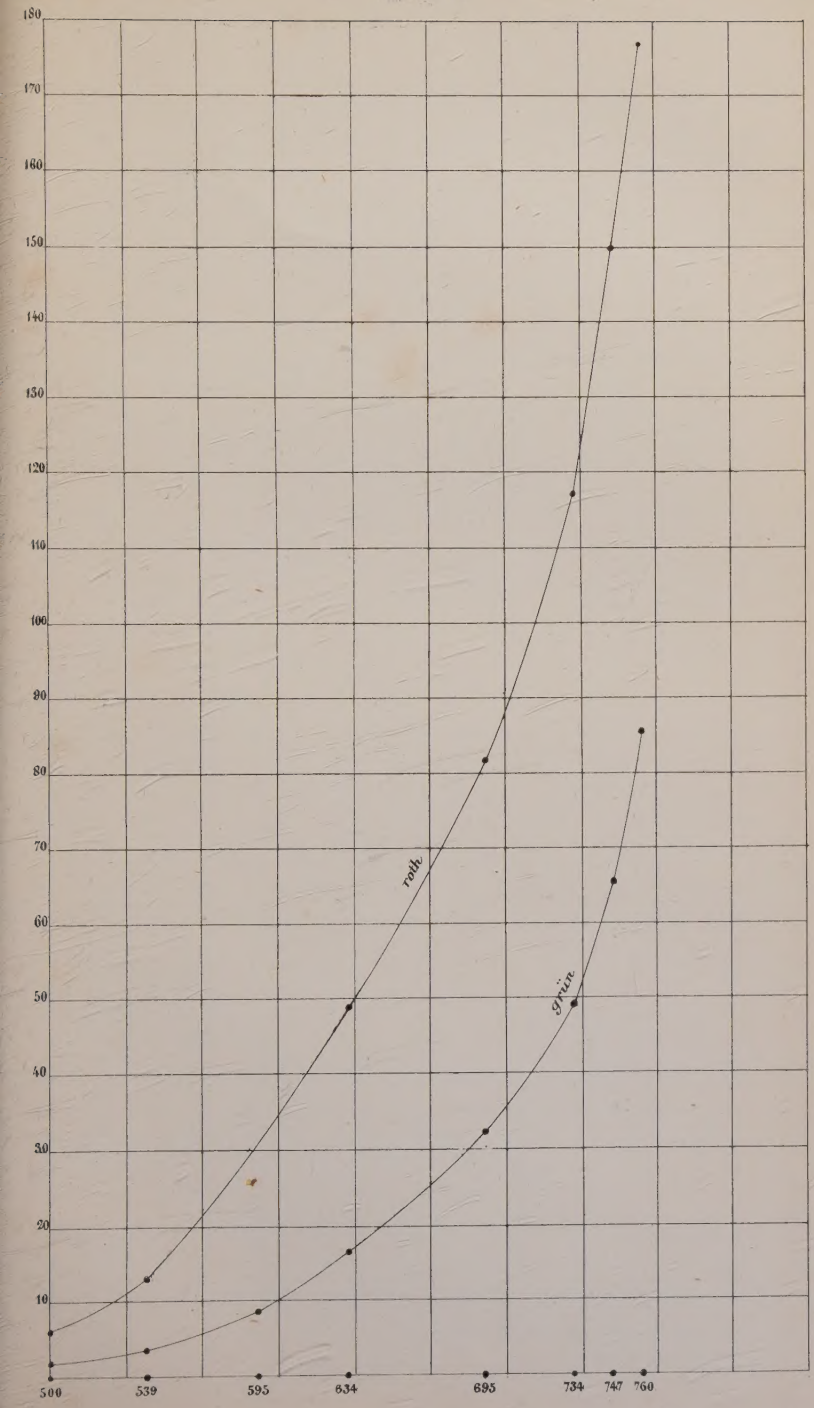


Fig. 11.



Tafel III.


180
170
160
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
roth
grün
500
539
595
634
695
734
747
760